

## Gabor 특징에 기반한 이동 및 회전 불변 지문인증

\*김중화, \*조상현, \*\*성효경, \*최홍문

\*경북대학교 전자전기공학부

\*\*삼성전자 주식회사

### Translation- and Rotation-Invariant Fingerprint Authentication Based on Gabor Features

\*Jong-Hwa Kim, \*Sang-Hyun Cho, \*\*Hyo-Kyung Sung, and \*Heung-Moon Choi

\*The School of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University

\*\* Samsung Electronics Co. Ltd, Gumi

E-mail: hmchoi@ee.kyungpook.ac.kr

#### Abstract

A direct authentication from gray-scale image, instead of the conventional multi-step preprocessing, is proposed using Gabor filter-based features from the gray-scale fingerprint around core point. The core point is located as a reference point for the translation invariant matching. And its principal symmetry axis is detected for the rotation invariant matching from its neighboring region centered at the core point. And then, fingerprint is divided into non-overlapping blocks with respect to the core point and features are directly extracted from the blocked gray level fingerprint using Gabor filter. The proposed fingerprint authentication is based on the Euclidean distance between the corresponding Gabor features of the input and the template fingerprints. Experiments are conducted on 300×300 fingerprints obtained from a CMOS sensor with 500 dpi resolution, and the proposed method could lower the False Reject Rate(FRR) to 18.2% under False Acceptance Rate(FAR) of 0%.

#### I 서론

최근 전자 금융, 전자 상거래, 스마트 카드 및 다양한 데이터베이스등에서 보안에 대한 요구가 증가함에 따라 자동 개인인증이 매우 중요한 연구 주제가 되고 있다. 이런 경우 인간의 생리학적 또는 행동적 특징에 기반하여 개인을 구분하는 생체 측정은 데이터베이스에 등록된 사람과 그렇지 않은 사람을 신뢰성 있게 구별하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

얼굴, 지문, 홍채, 망막, 자필글씨, 음성, 얼굴의 온도 분포, 손의 혈관, 걷는 모습, 귀의 모양, 향기, 키보드 입력 특성 등의 여러 생체특징 및 행동특징 가운데 지문을 이용한 방법은 가장 연구가 많이 되고 그 성능이 입증된 방법중의 하나이다. 지문의 유일성은 특징점 (minutia)이라 불리는 융선 (ridge)의 단점 (end point) 및 분기점 (bifurcation)과 같은 지문의 지역적 특징과 함께 전역적인 융선 구조에 의해서 결정될 수 있다. 그러나 융선이 이와 같이 개인간의 구별 가능한 정보를 가지고 있음에도 불구하고, 신뢰성 있는 지문 정합 알고리즘을 설계하기는 어렵다.

대부분의 지문 인증 방법들은 특징점에 기반한 정합 방법과 같이 국부적인 특징을 바탕으로 하고있다 [1, 2]. 특징점을 검출하기 위한 기존의 주요 단계로는 지문영상의 평활화, 융선의 방향추정, 융선의 추출, 세선화 및 특징점 검출 등이 있다. 그리고, 입력지문영상과 등록지문영상에서 특징점 간의 상대적 위치관계를 이용하여 정합이 이루어 진다. 그러나, 잡음이 많은 지문영상에 대해서 위에서 언급한 여러 단계의 전처리 과정을 거치는 것은 효율적이지 못할 뿐만 아니라 지문영상의 명도대비(contrast)가 낮은 경우에는 특징점을 오추출 하거나 실제 특징점의 소실이 일어날 수 있으며 인증결과는 각 처리 단계의 정확성에 따라 큰 영향을 받는다. 또한, 특징점에 기반한 인증 방법은 지문자체가 가지는 다른 유용한 정보들을 충분히 이용하지 못할 뿐만 아니라 국부적 융선 구조를 특징점만으로 표현하는 것은 불가능하다. 또한 그래프 기반법 (graph-based approach) [5] 이나 포인트 패턴 기반법 (point pattern-based approach) [1, 6] 들은 정합에 앞서 입력 및 등록 지문영상을 정렬해야 하는데, 이를 위해서는 많은 계산량이 요구된다. 따라서, 회전 및 이동 불변의 지문정합을 위해서는 여러 전처리 단계를 거치지 않고 기준점을 구한 후에 그레이 영상으로부터 직접 효율적인 특징벡터를 추출하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는, 지문의 중심점 주변의 그레이 값들로부터 직접 추출된 Gabor 특징들을 이용한 지문 인증 방법을 제안하였다. 회전 및 이동불변의 지문 정합을 위해서 중심점 (core point) 과 중심점 부근 영역에 대한 대칭축을 각각 추출하였다. 그리고, 블록화된 지문 영상으로부터 Gabor 필터를 이용하여 특징값을 구하였다. 입력지문영상과 등록지문영상 사이의 Gabor 특징값 들의 유클리드 거리를 이용하여 지문 정합을 수행하였다. 제안한 방법을 평가하기 위해 500 dpi 의 해상도를 갖는 지문 입력 센서에 의해서 획득된 300×300 크기의 영상을 가지고 실험하였다.

#### II. 그레이 영상으로부터의 직접 지문인증

지문인증을 수행하기 위해서는 크기, 이동 및 회전에 대해 불변한 알고리즘이 요구된다. 이중에서 지문 획득 장치로 센서를 쓸 경우에는 지문의 크기와 해상도가 고정되기

때문에 크기 변화는 고려 대상에서 제외시켰다. 따라서 본 논문에서는 회전 및 이동에 대해 불변인 지문인증을 목표로 하였고 이를 위해 중심영역에 대한 중심점과 대칭축을 각각 사용하였다.

## II.1. 중심점 검출

기존에는 기준점  $(x_c, y_c)$ 를 결정하기 위해 Poincare 또는 방향 필드를 이용한 여러 방법들을 사용하였다 [5]. 이런 방법들은 양질의 지문영상에 대해서는 좋은 성능을 보이지만 지문의 갈라짐, 긁힘, 건조한 지문의 끊어짐, 그리고 융선과 골(valley)의 명도대비가 적을 경우에는 기준점을 검출하기가 힘들다. 최근 Jain 등 [11]은 지문 융선의 상세정보와 방향필드를 함께 사용하는 방법을 제안하였다. 그러나, 이 경우에도 방향 필드에 잡음이 많거나 심하게 회전된 지문 영상에 대해서는 믿을 만한 결과를 얻을 수 없다. 본 논문에서는 기존의 방법들보다 잡음과 회전에 더욱 강건한 중심점 검출 알고리즘을 제안하였다. 우선, 중심점을 찾기 위해 그림 1에서 보는 바와 같이 방향 필드의 정현(simusoidal) 성분을 구하고 이를 평탄화 한 후 이진화(binazization)를 수행하였다. 그리고 이진화 된 영상에 GST(Generalized symmetry transform) [9]를 적용하여 가장 대칭성이 강하게 나타나는 중심점의 좌표를 구하여 기준점으로 설정하였다. 그림 1(h)와 같이 영상이 180° 회전된 경우 기존의 방법은 기준점이 바뀌지만 제안한 방법의 경우 영상의 중심에 가깝게 위치하는 중심점이 가장 대칭성이 강하게 나타나므로 영상이 180° 회전되더라도 회전되기 전의 중심점이 검출되어 회전에 더욱 강건하다.

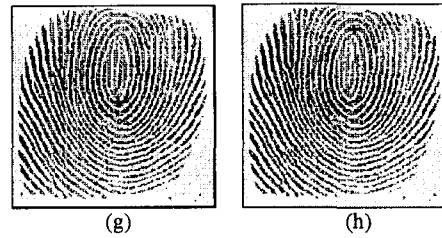
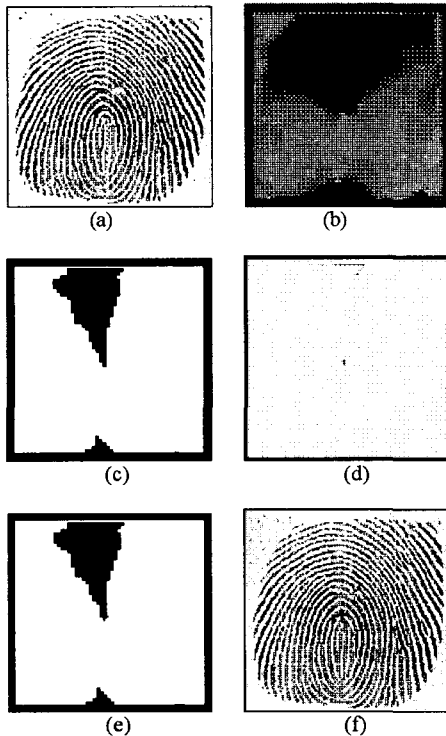


그림 1. 중심점 검출: (a) 사용된 지문, (b) 방향필드의 정현 성분( $w = 5$ ), (c) (b)를 이진화시킨 영상, (d) GST의 결과, (e) 최고점 검출 (f) 중심점 검출, (g) 180° 회전된 지문에 대한 중심점 검출, 및 (h) 기존 방법의 오류

Fig. 1. Estimating the core point: (a) Fingerprint, (b) sine component of the orientation field ( $w = 5$ ), image has been scaled for viewing, (c) binarized image of Fig. 1(b), (d) the result of GST, (e) peak detection, (f) core point detection, (g) core point detected for 180° rotated fingerprint, and (h) the erroneous result of the conventional method

## II.2. 중심점 부근 영역의 주대칭축 검출

회전에 불변한 지문 인증을 위해서는, 회전에 무관한 지문의 기준이 필요하다. 중심점 영역에서는 지문의 융선모양이 타원에 가깝기 때문에 대칭성이 강하다. 본 논문에서는 GCM [7, 8]을 이용하여 중심점 부근 영역의 대칭축을 검출하였다. 그림 2에서와 같이 중심점을 중심으로 한 반경  $r$ 의 원형 영역내의 정보를 이용해 대칭축을 구하였다. 여러 대칭축들 중 주대칭축을 찾기 위해,  $O_{Left}$ 과  $O_{Right}$ 의 방향에 대해 대칭도 (Symmetry Measure)를

$$\min_k \left\{ SM_k = \sum_{i_k}^{N/2} \left| \pi - (O_{Left} + O_{Right}) \right| \right\} \quad (1)$$

와 같이 정의하였다. 여기서,  $N$ 은 중심점을 중심으로 한 반경  $r$  내에 포함된 블록 개수의 절반이다. 그리고,  $k$ 는 GCM을 이용해 찾은 대칭각의 개수이다. 결정된 주대칭축을 그림 3에 나타내었다.

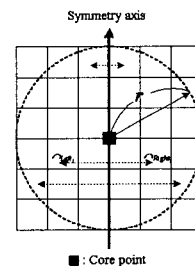


그림 2. 주대칭축의 계산  
Fig. 2. Calculation of the principal symmetry axis

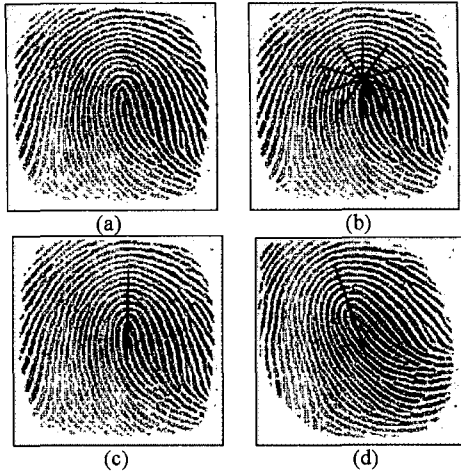


그림 3. 주대칭축: (a) 사용된 지문, (b) 검출된 다섯개의 대칭축, (c) 주대칭축 검출, 및 (d) 임의의 회전된 영상에 대한 주대칭축 검출

Fig. 3. Principal symmetry axis: (a) Original fingerprint, (b) five symmetry axes, (c) detection of principal symmetry axis, and (d) detection of principal symmetry axis for randomly rotated image

### II. 3. Gabor 특징 추출

지문은 국부적으로 평행한 융선 및 골들로 이루어져 있으므로 그 방향 및 주파수가 잘 정의된다. 적절히 조정된 Gabor 필터 [10] 는 잡음을 줄이고, 융선과 골의 구조를 잘 보존할 뿐만 아니라 지문 영상의 특정 방향에 대한 정보를 제공한다. 본 논문에서는 지문의 특징벡터를 추출하는데 Gabor 필터를 사용하였다. 이차원 Gabor 필터의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$h(x, y, \theta_k, f, \sigma_x, \sigma_y) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_{\theta_k}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta_k}^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \times \exp(i2\pi fx_{\theta_k}) \quad (2)$$

여기서,  $x_{\theta_k} = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k$  와  $y_{\theta_k} = -x \sin \theta_k + y \cos \theta_k$  는 정현파 평면의 주파수이고,  $\theta_k$  는 Gabor 필터의 방향을 의미하며,  $\sigma_x$  와  $\sigma_y$  는 각각  $x$ ,  $y$  축에 대한 Gaussian envelope 의 표준편차이다. 대부분의 지문영상의 지역적 융선 구조는 잘 정의된 방향과 주파수를 가지기 때문에, 본 논문에서는  $f$  를 평균 융선 간격의 절반의 역수로 두고,  $m$  은  $\theta_k = \pi(k-1)/m$ ,  $k = 1, \dots, m$  를 계산하기 위한 방향의 개수로 설정하였다. 각 블록에 대해 Gabor 필터를 적용하고 난 후에 아래와 같이 블록의 특징을 추출하였다.

$F_{i\theta}(x, y)$  가 블록  $B_i$  에 대한  $\theta$  방향으로 필터링된 이미지라고 하면, 블록 특징값  $BF_{i\theta}$  는 다음과 같이 정의되는 평균 절대오차 (average absolute deviation: AAD)이다.

$$BF_{i\theta} = \frac{1}{n_i} \left( \sum_{\kappa} |F_{i\theta}(x, y) - BM_{i\theta}| \right) \quad (3)$$

여기서,  $n_i$  는 블록  $B_i$  의 화소 개수이고,  $BM_{i\theta}$  는 블록  $B_i$  에서의  $BF_{i\theta}(x, y)$  의 평균 화소 값이다. 그림 4 에서 보는 바와 같이, 본 논문에서  $\theta$  는  $x$  축에 대해서  $\theta=0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$  의 8 개 방향을 사용하였다. 각각 8 개로 필터링된 이미지에서 각 블록의 AAD 로써 제안한 방법의 특징벡터의 요소를 정의하였다.

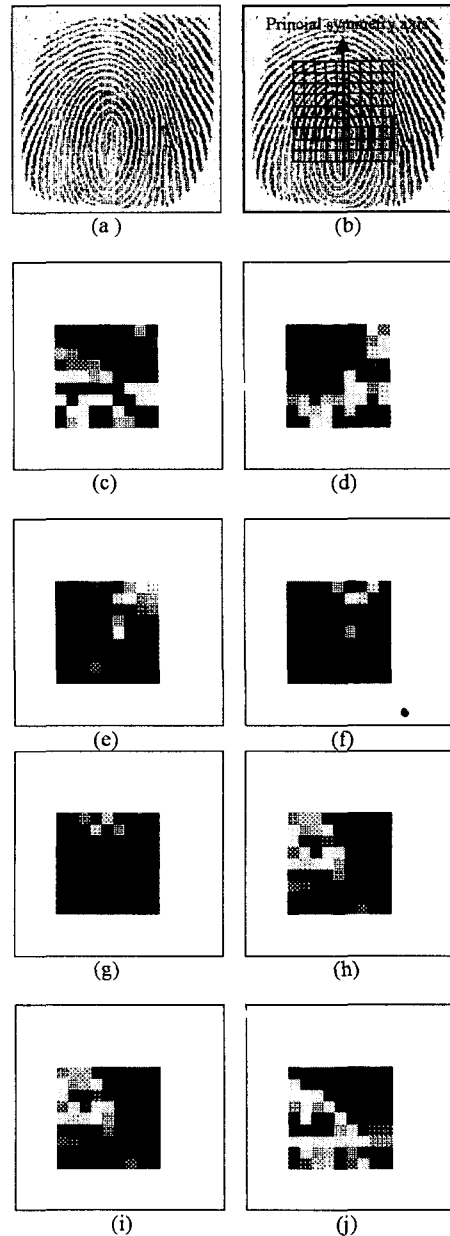


그림 4. Gabor 필터를 이용한 특징추출: (a) 사용된 지문, (b) 대칭축을 기준으로 한 지문의 블록화, 및 (c)-(j) 16×16 크기의 각 블록에 Gabor 필터를 적용한 영상

Fig. 4. Gabor filter-based feature extraction: (a) Fingerprint, (b) tessellation of fingerprint for symmetry axis, and (c)-(j) Gabor filtered block image for each non-overlapping block of size 16×16, respectively

#### II.4 지문 정합

지문 정합은 입력 지문과 등록 지문의 대응 특징들간의 유클리드 거리를 사용하였다. 이동불변 정합을 위해 중심점을 이용하고, 이를 중심으로 한 이웃 영역들로부터 대칭축을 구함으로써 회전 불변의 정합을 수행할 수 있다. 제안한 방법에서는 지문의 정합도를

$$MS_{IT} = \sum_{i=1}^N \sum_{\theta} \sum_{(x,y) \in \theta} \sqrt{(IBF_{i\theta}(x,y) - TBF_{i\theta}(x,y))^2} \quad (4)$$

와 같이 정의하였다. 여기서,  $IBF_{i\theta}(x,y)$ ,  $TBF_{i\theta}(x,y)$  는 각각 입력지문영상과 등록지문영상의 특징 벡터들이다. 그리고  $N$ 은 지문영상의 블록의 수이며,  $\theta$ 는 Gabor 필터의 방향이다.

### III 결과 및 고찰

실험을 위하여 500 dpi, 256 레벨의 해상도를 가진 센서를 사용하여 지문을 수집하였다. 실험에 사용된 지문은 25세에서 30세 사이의 사람 100명으로부터 수집하였다. 지문 인증의 경우 다음의 네가지 결과가 가능하다. (i) 본인 수락 (genuine acceptance), (ii) 타인 거부 (imposter rejection), (iii) 본인 거부 (genuine rejection, false reject), (iv) 타인 수락 (imposter acceptance, false acceptance). 첫번째와 두번째 결과는 지문인증에서 요구되는 결과이고 세번째, 네번째 결과는 착오이다. 지문인증 시스템의 성능은 FAR에 의해서 평가할 수 있으며, 실험에서 FAR은 0으로 설정하였다. 제안한 방법의 정확성을 검증하기 위해서 데이터베이스 내의 각 지문을 나머지 모든 지문과 정합시켰다. 중심점 검출시 몇 화소의 오차가 수반 될 수 있기 때문에 같은 지문이라 할지라도 정합도가 0이 되지 않을 수 있다. 그림 5는 정합 결과에 대한 본인 및 타인의 확률분포를 보여주고 있다. 실험을 통해 0%의 FAR에서 18.2%의 FRR을 얻을 수 있었다. 제안한 방법에서는 중심점이 지문 영상의 외곽쪽에 치우쳐 위치해 있을 때는 인증을 위해 필요한 영역을 획득하기가 어려우며, 입력 지문영상의 화질이 너무 나빠도 지문인증의 수행이 어려운 점이 있다.

### IV. 결론

기존의 여러 단계의 전처리를 거치지 않고 그레이 지문영상으로부터 Gabor 특징을 바로 추출함으로써 인증오차를 줄이고 회전 및 이동에 불변한 지문 인증 방법을 제안하였다. 지문의 중심점을 기준으로 한 중심점 영역과 그 대칭축을 사용함으로써 회전 및 이동에 불변한 정합이 가능하도록 하였다. 여러 단계의 전처리 과정을 거치는 기존의 특징점 기반 방법과는 달리 그레이 지문영상으로부터

직접 얻어진 특징을 가지고 인증을 수행하였다. 실험을 통해 0%의 FAR에서 18.2%의 FRR을 얻을 수 있었다. 제안한 알고리즘의 성능을 정밀 평가하고 좀더 FRR을 줄이기 위해서는 앞으로 다양한 성별과 나이의 지문을 포함하는 큰 데이터베이스에서의 검증 실험이 필요하다.

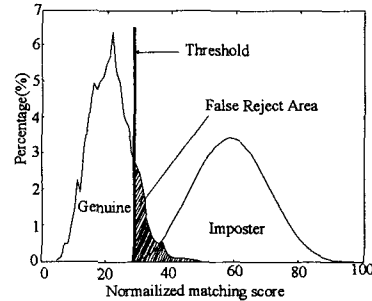


그림 5. 제안한 인증 알고리즘에서 본인 및 타인의 정합도 분포

Fig. 5. Genuine and imposter distributions for the proposed verification algorithm

### 참고 문헌

- [1] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, "An Identity Authentication System using Fingerprint," *Proceeding of IEEE*, vol. 85, no. 9, pp. 1365-1388, 1997
- [2] D. Maio and D. Maltoni, "Direct Gray-Scale Minutiae Detection in Fingerprint," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 19, no. 1, pp. 27-40, 1997
- [3] M. Eshera and K. S. Fu, "A Similarity Measure Between Attributed Relational Graphs for Image Analysis," in *Proc. 7th Int'l. Conf. Pattern Recognition*, Montreal, Canada, 30-33, July 1984
- [4] J. Ton and A. K. Jain, "Registering Landsat Images by Point Matching," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 27, no. 5, pp. 642-651, 1989
- [5] Anil K. Jain, Salil Prabhakar, and Lin Hong, "A Multichannel Approach to Fingerprint Classification," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 21, no. 4, pp. 27-40, April 1997
- [6] L. Hong and A. K. Jain, "Classification of Fingerprint Images," *11th Scandinavian Conference on Image Analysis*, June 7-11, Kangerlussuaq, Greenland, 1999
- [7] K. K. T. Cheung and H. H. S. Ip, "Symmetry Detection Using Complex Moments," *Proc. Of the 14th Int. Conf. On Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 1473-1475, 1998
- [8] D. Shen, et. al, "Symmetry Detection by Generalized Complex(GC) Moments," *IEEE Trans. On Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 21, no. 5, pp. 466-476, 1999
- [9] Daniel Reisfeld, Haim Wolfson, and Yehezkel Yeshurun, "Context-free Attentional Operators: the Generalized Symmetry Transform," *Internal Journal of Computer Vision*, vol. 14, pp. 119-130, 1995
- [10] Weldon, T. P., Higgins, W.E., and Dunn, D. F., "Efficient Gabor Filter Design for Texture Segmentation," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 12, pp. 2005-2015, 1996
- [11] A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, and S. Pankanti, "Filterbank-based Fingerprint Matching," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 5, 2000